



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 199 49 656 A 1

⑯ Int. Cl. 7:  
B 03 B 9/06  
B 29 B 17/02

⑯ Aktenzeichen: 199 49 656.0  
⑯ Anmeldetag: 14. 10. 1999  
⑯ Offenlegungstag: 19. 4. 2001

⑯ Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:  
Lucht, Hartmut, Dr.rer.nat., 12524 Berlin, DE;  
Schmidt, Matthias, Dr.-Ing., 06796 Brehna, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Fraktionierung von Kunststoffen, Metallen oder Gläsern

⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Trennen von Kunststoffen und Verbunden nach der Sorte, mit Sensoren zur Identifizierung der Kunststoffsorte und Aktoren zur mechanischen Trennung der Kunststoffe. Dabei werden die Kunststoffteile in einem ersten Verfahrensschritt auf ein einheitliches Maß zerkleinert, die zerkleinerten Teile auf ein Transportband aufgegeben und dort möglichst gleichmäßig verteilt, anschließend werden die Teile an einer Zeile von Sensoren vorbeigeführt, die die Lage auf dem Band und die Sorte der Kunststoffteile bestimmen, die identifizierten und lokalisierten Teile werden am Ende des Transportbandes über Wurfparabeln abgeworfen, wodurch an dieser Stelle ein oder zwei vorbestimmte Kunststofffraktionen aus dem Materialstrom ausgesondert und als sortenreine Fraktionen weiterverarbeitet werden. Die Restfraktion wird durch ein sich anschließendes Transportsystem aufgenommen und zu einem Sortierkarussell befördert. Das Sortierkarussell nimmt überwiegend jeweils ein Kunststoffteil auf und führt es an einem oder mehreren Sensors zur Identifikation vorbei, die identifizierten Kunststoffteil werden anschließend nach vorher bestimmten Kriterien über Aktoren an Abwurftstationen sortenrein in Containern oder Transportsystemen gesammelt.

DE 199 49 656 A 1

DE 199 49 656 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Trennen von Kunststoffen, Metallen und Gläsern hzw. deren Verbunde nach der Sorte.

Die Autoindustrie nutzt eine Vielfalt unterschiedlicher Kunststoffe. Dazu gehören Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrol (PS), Polypropylen (PP), Polyethylen (PE), Acrylnitril/Butadien/Styrol (ABS), Polycarbonat (PC), Polyamid (PA), Polyurethan (PUR), Polyphenyloxid (PPO), Polybutylenterephthalat (PBT) und Polymethyl-methacrylat (PMMA). Eine beherrschende Kunststoffsorte mit einem Anteil über 50%, wie sie die Polyolefine PP und PE im Haushaltsmüll ausmachen, existiert nicht. Hinzu kommen Produkte aus Kunststoffgemischen (Blends), Teile mit Lackschichten und schwarz eingefärbte Körper, deren Identifikation bisher große Probleme bereiten.

Sicherheitstechnische Anforderungen, das Bemühen um Leichtbau und der hohe Kostendruck führen beim Automobilbau zu einem wachsenden Einsatz von Kunststoffteilen. Der Kunststoffanteil im PKW von 10% in den siebziger Jahren wuchs auf gegenwärtig 15%. Für die nächsten Jahre wird ein wachsender Kunststoffanteil bis zu ca. 25% im Jahre 2005 erwartet.

Die herkömmliche Autoverwertung erfolgt über den Weg vom Schrottplatz direkt in den Shredder. Nach dem Zerkleineren muß ein Viertel der Schrottmenge als sogenannte Shredder-Leichtfraktion ausgesondert werden. Sie ist ein Gemisch aus Kunststoffen, Glas, Polstern, Gummi und sonstigen für die Stahlerzeugung ungeeigneten Stoffen, eine Gesamtmenge von ca. 450.000 t pro Jahr, die in Deutschland auf immer knapper werdendem Deponieraum entsorgt werden muß. Diese Entwicklung steht im Widerspruch zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), das die Schließung von Produktionsnutzungskreisläufen fordert. Ein großer Teil der Kunststoffe im Auto kann bei geeigneter Demontage und einer sortenreinen Trennung als hochwertiger Sekundärrohstoff genutzt werden.

Für die große Anzahl unterschiedlicher Kunststoffe sind hochselektive Trennverfahren erforderlich, die die Vorteile der Automation bezüglich Sortierqualität und Produktivität nutzen.

Erste Ansätze zur Verwertung der Kunststoffe im PKW gibt es bei einigen Recyclingbetrieben, die Kunststoff-Stoffänger aus Polypropylen verarbeiten und ein hochwertiges Mahlgut erzeugen. Die Kunststofftrennung erfolgt nach einem Verfahren, das von A. Bahr entwickelt wurde [A. Bahr, V. Vogt, Sortiertechnologie bei Kunststoffabfällen", Industrieanzeiger 99 (1997) 100, S. 2021]. Polypropylen hat eine kleinere Dichte als Wasser und schwimmt folglich in einem Wasserbecken auf. Die überwiegende Anzahl weiterer Kunststoffe, wie Polystyrol und Polyvinylchlorid, haben eine höhere Dichte und sinken im Wasserbecken ab. Diese sogenannte Schwimm-Sink-Technik kann man sich zunutze machen, um Kunststoffe untereinander zu trennen oder auch andere schwerere Materialien wie Metalle auszusondern. Durch Zusatz von Salz kann die Dichte des Wassers verändert werden und auf weitere Trennaufgaben angepaßt werden.

Die unterschiedliche Dichte der Kunststoffe wird auch in Hydrozyklen zur Trennung der Teile genutzt. Die zerkleinerten Kunststoffe werden in Wasser suspendiert und gelangen über eine Druckerhöhungspumpe in den Hydrozyklon (Zulauf). Durch dessen tangentialen Anordnung wird im Hydrozyklon ein Zentrifugalfeld erzeugt. Die Teilchen mit der höheren Dichte reichern sich in der Nähe der Außenwand an. Die Teilchen mit geringerer Dichte wandern zur Mitte. Die durch den tangentialen Zulauf entstehende abwärtsge-

richtete Partikelbahn wird Primärwirbel genannt. Die Austrittsöffnung am unteren Ende des Zylkones (Unterlauf) ist so gestaltet, daß sie als Drossel wirkt und nicht die gesamte ankommende Suspensionsmenge austreten läßt. So fließt

5 nur der wandnahe Teil, der die Schwerfraktion enthält, aus dem Zylkon. Die größte Wassermenge, zusammen mit den sich weiter innen anreichernden Teilchen, wird im Hydrozyklon zum Umkehren gezwungen. Der dadurch entstehende zentrale Wirbel heißt Sekundärwirbel und ist zum Primärwirbel entgegengesetzt aufsteigend gerichtet. Durch eine Überlaufdüse am oberen Ende der Anordnung verläßt das Wasser mit den leichteren Teilchen die Anlage.

Der Hydrozyklon ist zum Trennen von Granulat aus dem Haushaltsmüll eine verbreitete Technik. Großanlagen werden 15 durch Thyssen-Hentschel vertrieben.

Die Kunststoffe der Autoindustrie sind häufig durch Additive, Füllstoffe oder Verstärkungsfasern modifiziert. Dadurch wird die Dichte der Kunststoffe verändert und eine zuverlässige Zuordnung der Dichte zur Kunststoffsorte wird 20 unmöglich.

Hinzu kommt die bereits erwähnte Sortenvielfalt, die eine vielstufige außerordentlich aufwendige Trennanlage erfordert, was zu unwirtschaftlichen Lösungen führt.

Versuche die Kunststoffteile über eine Kennung oder gezielt eingesetzte Fluoreszenzmarker zu markieren und zu sortieren, konnten keine breite Anwendung finden. Die Gründe hierfür sind notwendige weltweite Regelungen zur Markierung bei der Produktion, die aus wettbewerblichen Gründen nur schwer realisierbar sind.

25 Kunststoffe können mit analytischen Methoden gut bestimmt werden. Eingesetzte Verfahren sind die Massenspektroskopie, Röntgen-Fluoreszenzspektroskopie, die UV-VIS-Absorptionsspektroskopie, die Atomemissionsspektroskopie, die MIR-Absorptionsspektroskopie (MIR = Mittleres Infrarot) und die NIR-Absorptionsspektroskopie (NIR = Nahes Infrarot).

Bei der Massenspektroskopie werden auf pyrolytischem Wege polymere Molekülbruchstücke in das Spektrometer überführt und die entsprechenden Massen detektiert. Aus dem Massenspektrogramm läßt sich der Kunststoff identifizieren. Das Verfahren erfordert Meßzeiten, die weit über einer Minute liegen. Eine Probenpräparation ist erforderlich. Für automatische Sortieranlagen ist das Meßverfahren ungeeignet.

45 Die Röntgenfluoreszenz mißt die durch harte Röntgenstrahlung angeregten Atomlinien der in der Probe enthaltenen Elemente. Eine Erkennung der polymeren Struktur von Kunststoffen ist nicht möglich. Kunststoffadditive lassen sich an Hand der gemessenen Elemente identifizieren. Die 50 Messung erfordert einige Sekunden, wobei die Probe zu fixieren ist. Das Verfahren wird zur Messung von Flammenhemmern in mobilen Meßwagen eingesetzt.

Die Schwingungsbanden der polymeren Moleküle können im Wellenbereich zwischen 200 und 400 nm in Reemission gemessen und zur Identifikation der Kunststoffe benutzt werden. In der Regel sind jedoch die Kunststoffe eingefärbt und es kommt zu starken Überlagerungen der Absorptionsbanden durch Fluoreszenzspektren der Farbstoffe, die eine sichere Identifikation ausschließen. Die UV-VIS-Spektroskopie hat daher zur Kunststoffmessung keine Verbreitung gefunden.

55 Die Laser Induced Plasma Spektroskopie (LIPS), oft auch als Laser Induced Breakdown Spektroskopie (LIBS) bezeichnet, ist ein neues Verfahren der Atomemissionsspektroskopie, das vergleichbar zur Röntgenfluoreszenzspektroskopie über die Messung der atomaren Zusammensetzung Additive und Fasern in Kunststoffen identifizieren kann. Das Verfahren kann ohne Probenpräparation schnell be-

wegte Teile messen und ist als Prozeßmeßtechnik geeignet.

Auch die Gleitfunkenspektroskopie, ein weiteres Verfahren der Atomemissionsspektroskopie, wurde zur Identifikation von Polymeren sowie der Additive eingesetzt. Zur Messung werden Elektroden auf die Kunststoffteile gedrückt und auf deren Oberfläche Gleitfunken erzeugt. Oberflächenverunreinigungen sind auszuschließen. Die Meßzeit beträgt einige Sekunden. Für automatische Sortieranlagen scheidet das Verfahren auf Grund der geringen Produktivität aus.

Von allen spektroskopischen Verfahren ist für die stoffliche Identifikation von Kunststoffen die IR-Spektroskopie von herausragender Bedeutung.

Ein IR-Spektrum lässt sich in zwei große Bereiche unterscheiden:

- Oberhalb  $1500\text{ cm}^{-1}$  befinden sich Absorptionsbänder, die einzelnen funktionellen Gruppen zugeordnet werden.
- Unterhalb  $1500\text{ cm}^{-1}$  befinden sich Bänder, die das Molekül als Gesamtheit charakterisieren.

Im ersten Bereich liegen die Valenzschwingungen der funktionellen Bausteine aus C, H, O bzw. N und als Ausnahme die N-H Deformationsschwingungen. Unterhalb von  $1500\text{ cm}^{-1}$  liegen Deformations-, andere Valenz- und Kombinationsschwingungsbanden.

Dieser Bereich wird daher als "fingerprint"-Region bezeichnet. Während der Bereich der Valenzschwingungen der funktionellen Gruppen ausgeprägtere und intensivere Bänder enthält, ist der "fingerprint"-Bereich für die Identifikation des Moleküls signifikanter. Die Identifizierung von Stoffen mittels Infrarotspektren erfolgt durch Auswertung der Bänder der funktionellen Gruppen und der Bänder des "fingerprint"-Bereichs. Die Messung unterhalb von  $1500\text{ cm}^{-1}$  erfordert aufwendige Kühlssysteme.

Zur Messung der Proben werden in der Regel FTIR-Spektrometer (FTIR = Fourier Transform Infrared) eingesetzt. Gemessen werden die Absorptionspektren in Reemission. Die Probe muß vorbereitet und zur Messung fixiert werden. Identifikationszeiten von einigen Sekunden und mehr sind üblich.

Neuere IR-Spektrometer nutzen zur Spektrenaufzeichnung im kurzweligen Bereich des IR-Spektrums ( $2500\text{ cm}^{-1}$  bis  $4000\text{ cm}^{-1}$ ) akustooptisch durchstimmbare Filter (AOTF = Acousto Optical Tunable Filter), die zur Messung nur noch Bruchteile einer Sekunde benötigen sowie bei einem Meßabstand von 20 cm arbeiten können. Der Einsatz dieser sogenannten AOTF-Spektrometer lässt bei der Identifikation schwarzer Kunststoffe einen Fortschritt erwarten. Auf Grund der starken Absorption der Grundschwingungen erfolgt die Messung der Kunststoffe in unmittelbarer Oberflächennähe. Verunreinigungen der Kunststoffe beeinträchtigen das Analyseergebnis erheblich und sind auszuschließen.

Oberhalb von  $4000\text{ cm}^{-1}$  ( $< 2,5\text{ }\mu\text{m}$ ) beginnt der nahe infrarote Spektralbereich (NIR). Es gibt umfangreiche Literatur über die Schwingungsspektroskopie im NIR und deren Anwendung auf unterschiedlichsten Gebieten, umfassend referiert in einer Arbeit von K. A. Martin in *Recent Advances in Near-Infrared Reflectance Spectroscopy*, *Appl. Spectrosc. Rev.*, 27, 325–383 (1992).

Polymere zeigen bei breitbandiger Bestrahlung im NIR ein charakteristisches Absorptionspektrum, die den Ober- oder Kombinationsschwingungen der Moleküle entsprechen. Sie sind wesentlich schwächer als die Bänder der Grundschwingungen. Auch die Interpretation und Zuordnung ist schwieriger. Die entscheidenden Vorteile der spektroskopischen Messung im NIR sind jedoch

- eine hohe Nachweisempfindlichkeit und eine hohe zeitliche Auflösung der verfügbaren Strahlungsdetektoren (Messung bewegter Teile wird möglich),
- die Strahlführung erfolgt durch übliche Medien, wie Glas und Quarz,
- die Eignung von kommerziellen IR-Strahlungsquellen und
- die Unempfindlichkeit gegenüber atmosphärischen Einflüssen und gegen Verunreinigungen auf der Oberfläche der Kunststoffkörper.

Nach spektralanalytischen Untersuchungen von Kunststoffen mit unterschiedlichen Füllstoffen, Verschmutzungen und unterschiedlicher Einfärbung wurde im LLA ein NIRspektroskopisches Verfahren zur Identifikation von Kunststoffen auf schnell bewegten Transportbändern entwickelt. Wesentliche Bestandteile des Verfahrens sind Standard-Halogenglampen als IR-Lichtquellen, Fiberoptiken zur Erfassung des reemittierten Lichtes, holographische Konkavgitter, IR-Fotodetektorzeilen und eine ultraschnelle spektrometrische Software. Ausgehend von dieser Konzeption wurden die NIR-Spektrometer KUSTA 2001, KUSTA 2002, KUSTA 4001 und KUSTA 4002 entwickelt.

Die Spektrometer KUSTA 2001 und KUSTA 4001 sind Handmeßgeräte für Stichprobennmessungen.

Für die Prozeßmessung von Kunststoffen auf schnell bewegten Bändern oder rotierenden Tellern wurde die Meßsysteme KUSTA 2002 und KUSTA 4002 entwickelt. Alle in der Verpackungsindustrie üblichen Kunststoffe wie PE, PP, PS, PA, PET, PVC und ABS können unabhängig von der Einfärbung und von Verschmutzungen zuverlässig identifiziert werden. Für die Messung der Absorptionsbanden werden IR-Detektorzeilen aus PbS-Fotowiderständen oder aus InGaAs-Dioden eingesetzt. Die Bestimmungszeit der Kunststoffsorte beträgt weniger als 10 ms. Das Meßsystem ist in der Lage, Kunststoffteile bis zu einer Geschwindigkeit von 4 m/s sicher zu identifizieren.

Eine Anlagenkonzeption zur Sortierung von DSD-Kunststoffen wurde durch H. Lucht, K. Löbe, in *Werkstoffliches Recycling von Kunststoffen mit NIR-Spektrometer KUSTA*, Konferenzbericht: UTECH Berlin 1995, Seminar "Kunststoff-Recycling II", BC Berlin-Consults GmbH, Seite 1–12 vorgeschlagen. Sie enthält segmentierte Transportbänder. Die Kunststoffkörper werden auf ein Unterflurband geschüttet und über einen Vertikalförderer auf ein V-förmig angeordnetes Förderbandpaar geleitet. Die beiden Bänder bewegen sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und zwingen die Teile in eine liegende Lage. Von diesem Bandpaar fallen die Kunststoffteile auf ein weiteres Bandpaar, die mit wesentlich höherer Geschwindigkeit laufen und die Teile auseinanderziehen. Von diesem Band erfolgt eine Übergabe auf ein weiteres Band, das im Bereich der Sensorik angemuldet wird. Dieses Band ist durch Trennwände in viele kleine Segmente unterteilt, in die jeweils nur ein Kunststoffteil fällt. Bei kleineren Teilen können auch zwei Teile pro Segment auftreten. Das segmentierte Band mit den Kunststoffteilen wird am Meßkopf vorbeigeführt. Der Meßkopf misst die Materialeigenschaften der Kunststoffteile und in einem Controller wird die Sorte ermittelt. Das Signal wird dann einer pneumatischen Trennanlage zugeführt, die das identifizierte Kunststoffteil an der richtigen Stelle von dem Förderband in einen Container oder auf ein weiteres Band befördert. Befinden sich zwei Teile unterschiedlicher Kunststoffsorte in einem Segment, so werden diese durch das Meßsystem erkannt und beide Teile in eine Restfraktion sortiert. Diese Restfraktion kann erneut sortiert werden.

Die Nutzung von segmentierten Bändern ergibt bei der

pneumatischen Trennung zuverlässigere Ergebnisse.

Problematisch bleibt bis zur Stunde die Identifikation von Kunststoffen, wie sie im Autoschrott häufig auftreten. Dazu gehört die Erkennung von dunklen Materialien, von Blends und Additiven. Das Signal/Rausch-Verhältnis und die spektrale Auflösung der bisher benutzten NIR-Spektrometer ist für diese Aufgabenstellung nicht ausreichend.

Ein weiteres Problem beim Recycling von Abfällen Kraftfahrzeugschrott ist die Form- und Größenvielfalt sowie das Auftreten außerordentlich unhandlicher Teile. Die Automatisierung des Materialstromes, wie es bei der DSD-Ware praktiziert wird, versagt hier. Eine Zerkleinerung auf ein einheitliches Maß erweist sich als wesentlich für die Erfindung. Hierfür können Brechwerke oder Shredder eingesetzt werden. Die Automatisierung der Materialströme von gebrochenen oder geshredderten Kunststoffen ist noch unerforscht. Sie ist eine grundlegende Voraussetzung für das werkstoffliche Recycling von Kunststoffen aus dem Elektronik- und Kraftfahrzeugschrott.

Ein Ziel der Erfindung ist eine Anlage zum Sortieren von Kunststoffen aus dem Kraftfahrzeugschrott, die vollautomatisch zerkleinertes Material in Reinstfraktionen trennt. Bei Bedarf kann die Anlage eine Graustufung (Schwarzsortierung) vornehmen. Die Anlage ist schematisch in Fig. 1 dargestellt.

Ein modularer Aufbau der Anlage ist vorgesehen, so daß in den unterschiedlichen Ausbaustufen spezifische, unterschiedliche Aufgabenstellungen gelöst werden können. Die dargestellte Anlage ermöglicht

- die gleichzeitige Trennung von grob geshredderten Kunststoffteilen nach anwenderspezifischen Sortimentsvorgaben,
- die Trennung der Kunststoffe nach hell und dunkel,
- die freiprogrammierbare Auswahl der Sortierklassen,
- das Anlernen neuer Kunststoffsorten,
- eine zuverlässige mechanische Vereinzelung und Trennung der Kunststoffteile und höchste Reinheit der sortierten Materialien.

Die dargestellte Anlage ist aus zwei Grundbausteinen (NIR-spektroskopische Bildverarbeitung, Sortentrenner) zusammengesetzt:

NIR-spektroskopische Bildverarbeitung, mit den Baugruppen

- Materialaufgabe für die geshredderten Kunststoffteile
- Gurtbandförderer
- NIR-spektroskopische Bildverarbeitung (wird zur Aussortierung von zwei Hauptfraktionen genutzt)
- Systemsteuerung
- Pneumatiksystem
- Container

Sortentrenner, mit den Baugruppen

- Förderer zur Vereinzelung der Kunststoffteile
- mechanische Strebeinrichtung
- Vereinzelungsvorrichtung
- Sortierzvorrichtung
- mehrere Container

Die grob gebrochenen Kunststoffteile (nicht größer als 8 x 8 cm und nicht kleiner als 3 x 3 cm) werden auf die Eingangsschüttung gegeben. Von dort werden sie durch Vibration gefördert und möglichst gleichmäßig auf einen 1 m breiten

Gurtbandförderer übertragen. Durch eine Transportgeschwindigkeit von ca. 2 m/s wird ein Auseinanderziehen des Sortiergutes erreicht und Überdeckungen weitgehend vermieden. Diese hohe Transportgeschwindigkeit wird außerdem benötigt, um am Bandende eine genügend große Wurfparabel des Sortiergutes zu erzeugen. Die Wurfparabel führt über pneumatischen Ejektoren, die zwei vorgewählte Kunststoff-Hauptfraktionen aus dem Materialstrom entnehmen.

Über dem Band wird eine NIR-spektroskopische Bildverarbeitung angeordnet. Die aufgezeichneten Bilder werden ultraschnell nach definierten Kriterien ausgewertet und zur Steuerung der pneumatischen Ejektoren genutzt.

Die Fraktion der restlichen Kunststoffteile fallen auf einen Förderer zur Vereinzelung der Kunststoffteile. In diesem Bereich kann bei Bedarf eine mechanische Strebeinrichtung hinzugefügt werden, die die Teile mechanisch beansprucht. Diese Beanspruchung soll einerseits die Identifizierung schwarzer Kunststoffe durch Versprödung verbessern, andererseits Verbünde trennen. Von der Fördereinrich-

tung fallen die Teile zu einem Sortierkarussell. Das Sortierkarussell hat Aufnahmen, die symmetrisch um eine Drehachse angeordnet sind. Durch geeignete Einstellung des Förderers soll eine gleichmäßige und ausgerichtete Zufuhr der Kunststoffteile zum Sortierkarussell gesichert werden. Erkenntnisse, die bei dem Bau von Bestückungsautomaten bekannt sind, sind berücksichtigt. Neu sind die Unfähigkeit der Teile und der hohe Durchsatz von wenigstens 5 Kunststoffteilen pro Sekunde.

Bei der Rotation des Karussells gelangen die Teile zum MIR-Meßkopf. Der Meßkopf mißt die Materialeigenschaften der Kunststoffteile und in einem Industrie-PC wird die Sorte ermittelt. Über eine serielle Schnittstelle wird der Systemsteuerung mitgeteilt, an welcher Stelle die identifizierten Teile ausgesondert werden sollen. Die Anlage zeigt 4 Auswurfschächte für die identifizierten Kunststoffteile sowie eine Abnahmestelle für die Restfraktion. Die sortierte Ware wird in den Containern gesammelt.

Das beispielhafte NIR-Spektrometer besteht aus dem MIR-Meßkopf und dem Meßgerät. Der Meßkopf vereinigt die Lichtquellen mit der Fokussierung auf die Probe und die Fiberoptik zur Erfassung des Lichtes von der Probe. Das Meßgerät enthält den Spektrographen mit der NIR-Detektorzeile, die Zeilenversorgung und analoge Signalverarbeitung, die Kalibriervorrichtung, einen Industrie-PC mit der spektrometrischen Software, der Steuerung des Meßsystems, der Stromversorgung und den Schnittstellen zur Systemsteuerung.

Seit 1995 sind InGaAs-Fotodiodenzeilen mit einem Signal/Rauschverhältnis bekannt, das ca. um eine Größenordnung besser ist, als das der PbS-Widerstände. Die Detektorgröße ist um eine Größenordnung kleiner, als bei den bisher genutzten PbS-Zeilen. Die bekannten Spektrometer sind für diese neuen Zeilen zu lichtschwach. Sinnvoll ist die Entwicklung von Spektrometern, bei denen eine möglichst große Probenfläche auf einen kleinen Detektor abgebildet wird. Diese Aufgabe kann mit holographischen optischen Elementen realisiert werden, die speziell für diese Aufgaben zugeschnitten sind. Aufbauend auf Fotodiodenzeilen bis zu 512-Elementen und einem Seya-Namioka Spektrometer mit holographischem Konkavgitter soll ein NIR-Meßsystem entwickelt werden, das höhere Auflösung und höhere Nachweisempfindlichkeit als die bisher bekannten Spektrometer hat. Mit der geplanten Anordnung soll eine Auflösung von 2 nm/Pixel im Bereich zwischen 1,5 und 2,2 µm erreicht werden. Kleine Unterschiede in den Absorptionsspektren von z. B. Nylon6 und Nylon66 können so sicher gemessen werden. Ein weiterer Fortschritt ist bei der Identifikation von Flammenhemmern zu erwarten, die bisher nur im mitt-

leren Infrarot gemessen werden konnten.

Das um den Faktor 10 bessere Signal/Rauschverhältnis der InGaAs-Detektoren kann nur genutzt werden, da die dazu gehörige analoge Signalsstrecke die erforderliche Empfindlichkeit sowie den notwendigen Dynamikbereich hat. Die Zeilenkamera zeigt einen 16-bit Analog/Digital-Wandler.

Die Lichtstärke der optischen Wege im Meßraum ist optimiert. Halogenlampen sind für den NIR-Bereich geeignete Strahlungsquellen. Sie sind billig und jederzeit im Handel erhältlich. Die elektrischen Parameter zum Betrieb der Lampen werden dahingehend optimiert, um eine maximale Strahlungsintensität auf der Probe zu sichern. Ferner wird die Fokussierung der Lampen auf die Proben sowie die Sammlung des Lichtes von der Probe auf die Faseroptik optimiert.

Die Lichtquellen, die optische Anordnung sowie die Sensorik zeigen Drifterscheinungen oder Alterungsschäden. Um eine Beeinträchtigung der Identifikationsfähigkeit zu verhindern, werden optische Meßsysteme regelmäßig geeicht. Das Meßsystem zeigt eine Kalibriervorrichtung, die die Meßanordnung in regelmäßigen Abständen automatisch nacheicht.

Erfnungsgemäß soll möglichst eine Identifikationszeit von weniger als 4 ms erreicht werden. Hierzu ist eine ultraschnelle spektrometrische Software vorgesehen. Die Software zeigt folgende konzeptionellen Strukturen:

- Vorverarbeitung der Spektren über Normierung und Fuzzifizierung der Meßwerte
- Klassifizierung der Spektren mit neuronalen Netzen
- Plausibilitätsprüfung
- Nutzung eines digitalen Signalprozessors zur Erhöhung der Geschwindigkeit
- Entwicklung einer Sortendatenbank
- Spektrometrische Software zur Bestimmung von Kunststoffblends.

Damit werden Kunststoffe mit einem Graphitgehalt bis zu 0,5% in einer Bewegung bis zu 4 m/s sicher identifiziert.

Schwarze Kunststoffe mit einem Graphitanteil über 0,5% werden im Bereich der Grundwellen im mittleren Infrarot-Bereich gemessen. Für diese Aufgabe kommt ein AOTF-Spektrometer zur Anwendung.

#### Beispielhafte Ausbildungen oder Anwendungen der Erfahrung für Aufgaben im Recyclingbereich

Für den Bereich der Kraftfahrzeugindustrie löst dieses Verfahren des werkstofflichen Recycling von Kunststoffen aus dem Kraftfahrzeugschrott das bestehende Problem, den stetig steigenden Kunststoffabfallberg produktiv und wirtschaftlich zu verwerten. Durch die Möglichkeit geshredderte Kunststoffe zu sortieren können manuelle Demontage- und Sortierarbeiten entfallen.

Für Kunststoffe aus dem Elektronikschrott fehlen bisher leistungsfähige Sortierverfahren für das werkstoffliche Recycling. Auch hier stellen sehr unterschiedliche Formen der Teile, ein breites Spektrum an Polymeren sowie Additiven und schwarze Einfärbung extreme Anforderungen an die Sortiermechanik und die Identifikationssensorik. Die Erfahrung kann ohne wesentliche Veränderungen unmittelbar für Kunststoffe aus dem Elektronikschrott eingesetzt werden.

Für die Schrottaufbereitung beim Recycling von Metallen insbesondere von Aluminiumschrott ist die Sortenreinheit ein ausschlaggebender Faktor. Hüttenbetriebe und Gießereien führen anfallenden Schrott aus eigenen Probegüssen, abgetrennten Speisern, Steigern usw. in der Regel sofort

problemlos wieder dem eigenen Schmelzbad zu. Primär- schrott aus anderen Betrieben, in denen er sortenrein anfällt und entsprechend gesammelt wird, wird ebenfalls ohne Probleme verwertet. So werden z. B. neue Profilabfälle aus dem Werkstoff AlMgSi0,5 bei Fenster- und Türenherstellern getrennt gesammelt und wiederverwertet. Im Altmetallhandel werden diese Sekundärrohstoffe mit deutlich höheren Preisen bewertet als vergleichbare Altmetalle aus dem Schrottsammelplatz mit unbekannter Zusammensetzung, Anhaftungen, Verunreinigungen und Fremdstoffanteilen. Als Beispiel seien hier einige Großhandels-Ankaufspreise für Aluminiumschrott vom 20. 03. 96 in DM/100 kg genannt:

15	Alu. neu, Cu-arm	180-190
	Reinaluminiumdraht	220-225
	Gußschrott, max. 2% Fe	135-140
	Alu-Blechabfälle, max. 2% Fremdst.	120-125
	Alu-Späne, max. 5% Fremdst.	110-115
	Alu-Profilabfälle, AlMgSi0,5	225-230
20	Alu-Gußlegierung Nr. 225	216-250
	Alu-Gußlegierung Nr. 226	225-252
	Alu-Gußlegierung Nr. 231	240-264
	Alu-Gußlegierung Nr. 233	277

Die übliche Sortierpraxis der Altmetallgroßhändler differiert entsprechend den Gegebenheiten, die durch die Qualitäten der regional eingekauften Sekundärstoffe und den Handelsvereinbarungen mit den Abnehmern und Wiederverwertern bestimmt sind. Bisher erfolgt in der Regel eine Vorsortierung nach in Augenschein und ein nachfolgendes Shreddern. Es entsteht ein Al-Schrott, der sich nicht in eine Klasse einordnen lässt und dessen Verkauf nur zu erheblich reduzierten Preisen möglich ist. Erfnungsgemäß gelingt es, die hochwertigen Al-Schrotteile als sortenreine gesonderte Fraktionen auszusondern und die Restfraktion in der analytischen Zusammensetzung zu bestimmen. Damit kann den Al-Hütten eine definierte Qualität angeboten und gute Preise erzielt werden. Der Gewinn für den Recyclingbetrieb lässt sich so erheblich steigern.

Die Anlage zum Sortieren von geshredderten Kunststoffen lässt sich entsprechend für geshredderte Leichtmetalle realisieren. Zur Identifizierung der chemischen Zusammensetzung der Al-Teile kann der NIR-Sensor durch einen Laserplasmasensor ersetzt werden.

Im Elektronikschrott sind große Mengen an technischen Gläsern enthalten. Allein in Deutschland fallen jährlich etwa 5 Mio. Bildröhren zur Entsorgung an. Die Bildröhren bestehen aus Spezialgläsern, die qualitativ hochwertige Sekundärrohstoffe darstellen. Dennoch wird der Großteil dieser Gläser nach wie vor deponiert. Selbst die in modernen Verwertungsanlagen von giftigen Leuchttöpfen gesäuberten Scherben liefern in der Regel nur einen minderwertigen Rohstoff, da die Vielzahl der verwendeten Glassorten mit unterschiedlichster chemischer Zusammensetzung ein direktes werkstoffliches Recycling der Glasmischfraktion verhindert.

Der Laserplasmasensor ist für die Sortierung technischer Gläser zum sortenreinen Recycling von Hochdrucklampengläsern erfungsgemäß besonders geeignet. Es ist eine Grobsortierung nach der Glassorte durch einfache qualitative Analyse der chemischen Komponenten (Tabelle 1) als auch eine genaue quantitative Bestimmung möglich.

Es konnten sortenreine Gläser erzielt werden, die direkt in den Glashütten zur Erzeugung neuer Lampengläser verwendet werden können.

Die Möglichkeit einer Unterscheidung verschiedener Klassen innerhalb eines Glastypes in Abhängigkeit von der

Konzentration einzelner Oxid-Komponenten, gestattet eine Hersteller-spezifische Sortierung. So kann zum Beispiel auch eine Unterscheidung gestaffelt nach dem Blei- bzw. Bariumoxid-Gehalt, deren Bestimmung bei der Entsorgung von Konus- bzw. Schirmgläsern der verschiedensten Bildröhren von Bedeutung ist, erfolgen.

Durch die ständige Messung der chemischen Zusammensetzung von gebrochenen Glasmischfraktionen mittels laserspektroskopischer Schnellanalytik sind in der Zusammensetzung bekannte Glasfraktionen erzielbar und damit deren Wiederverwertung als hochwertiger Sekundärrohstoff möglich.

Dabei wird der NIR-Sensor aus der Kunststoffsortieranlage durch den Laserplasmasensor ersetzt und damit die Sortieranlage für gebrochene Scherben aus dem Bildröhrenbereich ausgestattet.

Fig. 1 zeigt eine schematisierte Darstellung einer Anlage zum automatischen Sortieren von Kunststoffen aus dem Kraftfahrzeugschrott.

Diese Anlage ist geeignet Kunststoffkörper in der Größe von kleiner als  $8 \times 8$  cm, größer als  $3 \times 3$  cm, in zwei Stufen, wobei die erste Stufe zwei Hauptfraktionen und die zweite Stufe 5 Fraktionen zeigt, sicher zu trennen. Dabei werden die Materialien PVC, PS, PP, PE, ABS, PC, PA, PUR, PPO, PMMA und andere erkannt und zur Grundlage der Sortierung gemacht. Es wird eine Sortierreinheit der Kunststoffsorte besser als 99% erreicht. Die Anlage benötigt einen Aufstellfläche von 10 m  $\times$  5 m und kann ca. 1 t/h verarbeiten und sortieren.

5

10

und als sortenreine Fraktionen weiterverarbeitet werden, daß die Restfraktion durch ein sich anschließendes Transportsystem aufgenommen und zu einem Sortierkarussell befördert wird, daß das Sortierkarussel überwiegend jeweils ein Kunststoffteil aufnimmt und sowohl an einem oder mehreren Sensoren vorbeiführt, und daß die identifizierten Kunststoffteile nach vorher bestimmten Kriterien über Aktoren an Abwurfstationen sortenrein in Containern oder Transportsystemen gesammelt werden.

2. Verfahren, nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß die Sensorzeile eine Zeile von NIR-Meßköpfen ist, die über einen optischen Multiplexer an ein NIR-Spektrometer geschlossen wird, das sich in dem Schaltschrank für die Prozeßmeßtechnik und Prozeßsteuerung befindet,

daß die von der Meßkopfzeile aufgenommenen Signale in dem Rechner für die Prozeßsteuerung zur Ermittlung der Lage auf dem Band und zur Identifizierung der Kunststoffteile benutzt werden und

daß die Prozeßsteuerung auf der Grundlage dieser Informationen mechanische oder pneumatische Ejektoren aktiviert, die vorbestimmte Kunststoffteile nach frei wählbaren Kriterien ausblasen.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

#### Bezugszeichenaufstellung

1 Aufgabeeinrichtung	
2 NIR-Meßkopfzeile, Sensorzeile	
3 Zeile von Halogenleuchten	35
4 Zeile von pneumatischen Ejektoren	
5 Schaltschrank für die Prozeßmeßtechnik und Prozeßsteuerung	
6 Container für sortenreine separierte Kunststoffteile	
7 Rutsche für separierte Kunststoffteile	40
8 Vibrationsförderer für Kunststoffteile	
9 Sortierkarussell	
10 NIR-Meßkopf mit Halogenleuchten	
11 MIR-Meßkopf mit Infrarotleuchten	
12 Container für sortenreine Fraktionen	45
13 Kunststoffrestfraktion	
14 Greifer für Kunststoffteile	

30

35

40

45

50

55

60

65

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Trennen von Kunststoffen und Verbinden nach der Sorte, mit Sensoren zur Identifizierung der Kunststoffsorte und Aktoren zur mechanischen Trennung der Kunststoffe, dadurch gekennzeichnet, daß die Kunststoffteile in einem ersten Verfahrensschritt auf ein einheitliches Maß zerkleinert werden, daß die zerkleinerten Teile auf ein Transportband aufgegeben und dort möglichst gleichmäßig verteilt werden, daß die Teile an einer Zeile von Sensoren vorbei geführt werden, die die Lage auf dem Band und die Sorte der Kunststoffteile bestimmen, daß die identifizierten und lokalisierten Teile am Ende des Transportbandes über Wurfsparabeln abgeworfen werden, daß an dieser Stelle ein oder zwei vorbestimmte Kunststofffraktionen aus dem Materialstrom ausgesondert

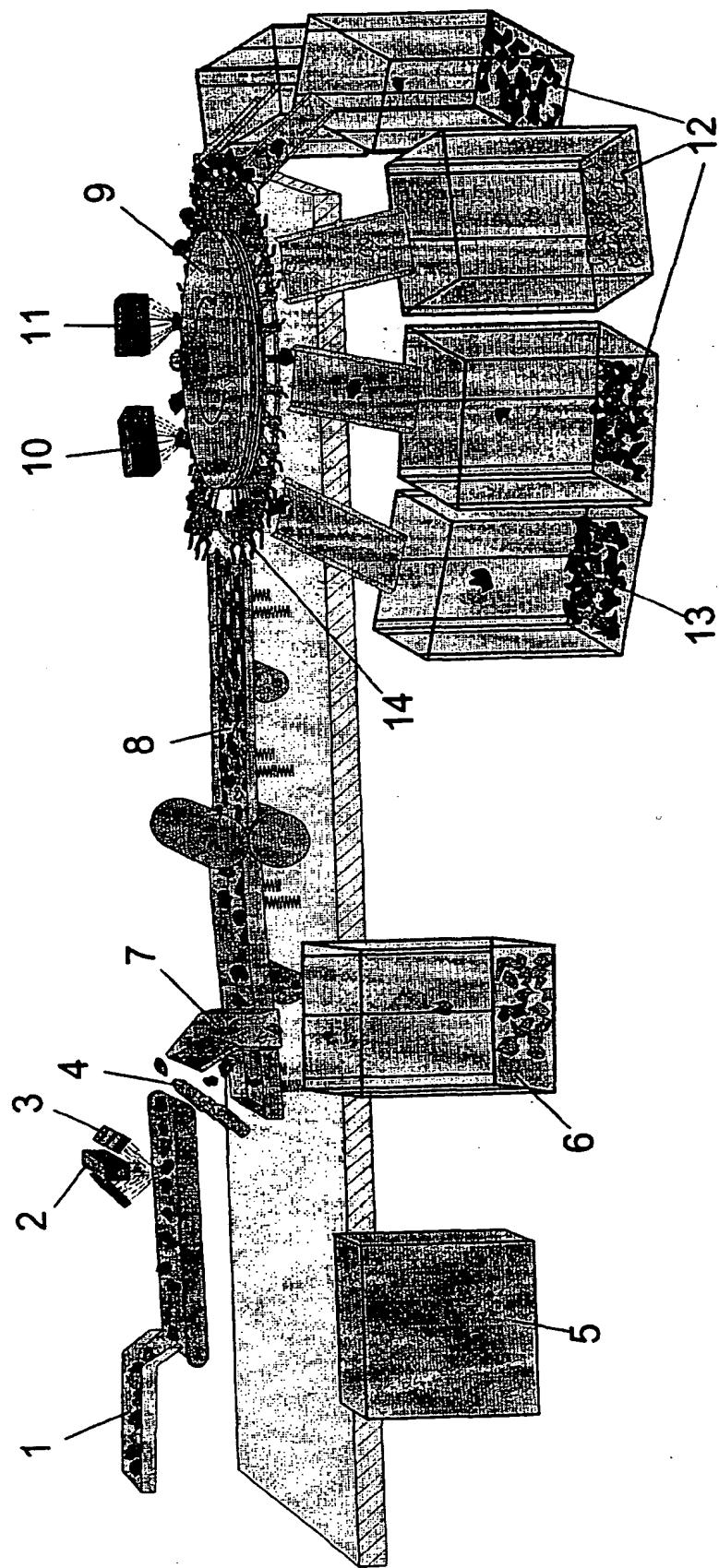


Fig. 1

Glastyp	Konzentration in Massenprozent	
	> 10%	2% < x < 10%
Borosilikatglas	SiO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (PbO)
Alumoborosilikatglas	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; CaO, MgO
Natronkalksilikatglas	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O, CaO, K <sub>2</sub> O, MgO
Bleiglas	SiO <sub>2</sub> , PbO (>5%)	Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O
Ba-haltiges Weichglas	SiO <sub>2</sub>	BaO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O

Tabelle 1